

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-219379

(43)Date of publication of application : 05.08.2004

(51)Int.Cl.

G01N 21/39
H01S 3/00

(21)Application number : 2003-009785

(71)Applicant : MITSUBISHI HEAVY IND LTD

(22)Date of filing : 17.01.2003

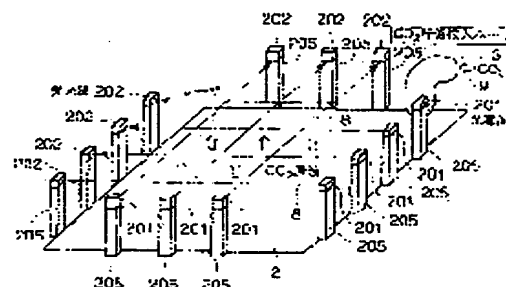
(72)Inventor : MUTA KENJI
TAURA MASAZUMI
IIJIMA MASAKI

(54) SYSTEM FOR MONITORING GAS CONCENTRATION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a highly reliable system for monitoring gas concentration, at low cost capable of highly sensitively detecting and monitoring leaking GHG over a wide area to be monitored.

SOLUTION: The gas concentration monitoring system is provided with at least one light source part 201, oscillating a laser light of absorption wavelength unique to the GHG species to be monitored, toward atmosphere present, in the vicinity of the ground of an area for GHG underground disposal storage; at least one light-receiving part 202 for receiving the laser light transmitted through the atmosphere present in the vicinity of the ground of the area for GHG underground disposal storage; and tunable diode laser absorption spectroscopic means 20, 20A-20C for modulating the oscillation wavelengths of the laser lights oscillated from the light source part, demodulating a modulated signal from among signals received at the light receiving part, and determining the concentration of the gas types of GHGs to be monitored, on the basis of the demodulated signal.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

17.01.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

温室効果ガス地下処分場の貯留対象域の地表側において温室効果ガスの濃度を検出し、該温室効果ガス地下処分場貯留対象域から地表に漏れ出してくる温室効果ガスを監視するガス濃度モニタリングシステムであって、

前記温室効果ガス地下処分場貯留対象域の地表近傍または上空に設けられ、監視対象となる温室効果ガス種に固有な吸収波長のレーザ光を前記温室効果ガス地下処分場貯留対象域の地表近傍に存在する大気に向けて発振する少なくとも 1 つの光源部と、

前記温室効果ガス地下処分場貯留対象域の地表近傍または上空に設けられ、前記温室効果ガス地下処分場貯留対象域の地表近傍に存在する大気中を通過した前記光源部から発振されたレーザ光を受光する少なくとも 1 つの受光部と、

前記光源部から発振されるレーザ光の発振波長を変調し、前記受光部で受光した信号の中から変調された信号を復調し、復調信号に基いて前記監視対象温室効果ガス種の濃度を求める波長可変半導体レーザ吸収分光手段と、

を具備することを特徴とするガス濃度モニタリングシステム。

【請求項 2】

複数の光源部および複数の受光部を前記温室効果ガス地下処分場の貯留対象域の周縁部に所定のピッチ間隔で対向配置するかまたは同列配置し、前記温室効果ガス地下処分場貯留対象域の地表に沿って複数のレーザ光を通過させることを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 3】

さらに、前記複数の平行レーザ光にそれぞれ交差するように複数のレーザ光を複数の光源部から実質的に平行に出射させ、前記温室効果ガス地下処分場貯留対象域の地表に沿って格子状にレーザ光を通過させることを特徴とする請求項 2 記載のシステム。

【請求項 4】

前記光源部と前記受光部とは 1 対 1 に対向配置されていることを特徴とする請求項 2 または 3 のいずれか一方に記載のシステム。

【請求項 5】

前記光源部と前記受光部は同じ側に同列配置され、前記光源部に対向配置された 1 つ又は複数の反射部をさらに有することを特徴とする請求項 2 または 3 のいずれか一方に記載のシステム。

【請求項 6】

前記光源部および前記受光部は、所定位置に固定配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちのいずれか 1 記載のシステム。

【請求項 7】

前記光源部は所定位置に固定配置され、前記受光部は移動体に搭載されて移動可能であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちのいずれか 1 記載のシステム。

【請求項 8】

前記光源部は移動体に搭載されて移動可能であり、前記受光部は所定位置に固定配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちのいずれか 1 記載のシステム。

【請求項 9】

前記光源部および前記受光部は、ともに移動体に搭載されて移動可能であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちのいずれか 1 記載のシステム。

【請求項 10】

さらに、前記波長可変半導体レーザ吸収分光手段により得られたガス濃度検出データに基いて地下処分場から地表に漏洩する温室効果ガスのリーク量を求め、このリーク量が所定の閾値を超えたときに、前記地下処分場への温室効果ガス圧入量および圧力のうちの少なくとも一方を制御する制御手段を有することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のうちのいずれか 1 記載のシステム。

【請求項 11】

さらに、前記波長可変半導体レーザ吸収分光手段により得られたガス濃度検出データを上空で受信し、解析し、その解析結果と上空からの大気中ガス濃度の観測結果とを地上に配信する観測衛星を有することを特徴とする請求項請求項1乃至10のうちのいずれか1記載のシステム。

【請求項12】

さらに、前記波長可変半導体レーザ吸収分光手段により得られたガス濃度検出データを入力し、解析し、その解析結果と前記観測衛星から得られる観測結果とを関連する各方面に配信するインターネット配信システムを有することを特徴とする請求項11記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

10

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、温室効果ガスの地中処分対象領域から漏洩するガスを監視するガス濃度モニタリングシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】

地球温暖化防止のために、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、ハイドロフルオロカーボン(HFC)、パーフルオロカーボン(PFC)、六フッ化硫黄(SF₆)などの温室効果ガス(Green House Gas; 以下、GHGという)の排出量の削減が地球規模で求められている。1997年12月に開催された地球温暖化防止京都会議では、いわゆる京都議定書において先進国全体でGHG排出量を約5%削減するという具体的な数値目標が掲げられている。

20

【0003】

特に二酸化炭素(CO₂)はあらゆる燃焼排ガス中に多量に含まれていることから、その分離・固定化技術の研究開発が関係各方面において活発に進められている。CO₂分離・固定化技術のうち有力視されているのは地中処分法である。地中処分法は、例えば図1および図12に示すように、鋼管杭等からなる貯留投入ポート3を地中深くに打ち込み、地下の閉塞帯水層4または準化石塩水層5にCO₂ガスを圧入する方法である。圧入されたCO₂ガスは、閉塞帯水層4のなかではCO₂超臨界流体6の形態で貯留され、準化石塩水層5からは塩淡境界を超えて海中に流入して固定化される。

30

【0004】

しかし、圧入したCO₂ガスの全部が地中に安定して貯留されるとは限らず、その一部が岩盤の割れ目などを通して再び地表に漏れ出てくるおそれがある。特に短時間の大量圧入はCO₂ガスのリーク量が無視できないほど多くなり、地中処分の効果が実質的に得られなくなるので、CO₂ガスの圧入を一時中断するなどの対策を講じる必要がある。このため、地表の貯留対象域においてCO₂ガスのリーク量を常時監視する体制が要求されている。

【0005】

一般的に、ガス濃度計測は、計測領域のガスを一定量サンプリングし、計測妨害物質を除去する前処理工程を経て、各種分析手法を用いてサンプルガス中の対象ガス濃度を検出する。そのため、この手法を用いた計測は、局所ガス濃度を検出する手法となる。よって、これらの手法を用いてGHG地下処分プラントのGHG漏洩監視を行う場合には、例えば非特許文献1に記載された図15および図16に示すような漏洩ガス検知システムを用いる。

40

【0006】

従来の漏洩ガス検知システム100においては、図15に示すようにGHG地中処分プラントの貯留対象域2(広さ3.6km×4.0km)に多数のサンプリング孔(200mmピッチ間隔、深さ900mm)を掘り、各サンプリング孔に細径(直径7mm)のステンレスチューブからなるサンプリング管101を挿入する。サンプリング管101の下端から50mm範囲の外周には多数の通気孔101aが開口形成されている。図16に示す

50

ように、サンプリング管101の上端にはポンプ103に連通する吸引管102が繋ぎ込まれ、吸引管102の適所を貫通して軟質のシリコン栓104が詰め込まれている。

【0007】

この従来システム100では、先ずポンプ103を駆動させ、地中の土壤ガスを吸引しながらガス・シリンジ105の針をシリコン栓104に突き刺し、土壤ガスをサンプリングする。次いで、サンプリングガスをガス・シリンジ105に封入した状態で搬送し、これをガスクロマトグラフィー106の分析セルに注入し、成分分析し、その分析データをコンピュータ107に送り、コンピュータ107でデータ処理し、その結果をグラフや表の形式で画面表示する。このような一連の手順のサンプリング操作を広大な貯留対象域2の全域にわたり繰り返し行うことによりGHG漏洩発生の有無を判断する。

10

【0008】

【非特許文献1】

GHG-6; Sixth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies; C1-1~C1-6, p89~p94 (京都国際会議場; 2002年10月1日~4日)

"Soil Gas As a Monitoring Tool of Deep Geological sequestration of Carbon Dioxide: Preliminary Results from ENCANA EOR PROJECT in Weyburn, Saskatchewan (Canada)"

【0009】

20

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら従来の漏洩ガス検知システム100においては、GHG地中処分プラントが広大な敷地面積(1~100km²)を必要とするため、局所計測のサンプリング式ガス分析計を用いてシステムを構築しようとする、膨大な数の測定点が必要になり、その実現のために莫大な建設費用を要することになる。また、測定点が膨大な数に及ぶと、建設コストばかりでなく、運転操業や保守点検のための人件費が非常にかかり、運転コストおよび保守コストが莫大なものになる。

【0010】

一方、コスト低減のために測定点を減らすと、リークガスの検知精度が低下して監視の信頼性がなくなるという問題点がある。

30

【0011】

本発明は上記の課題を解決するためになされたものであり、広域の監視対象区域において漏洩するGHGを高感度に検出し監視することができる低コストで高信頼性のガス濃度モニタリングシステムを提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、先の特許第3342446号において半導体レーザー光源を利用したガス濃度計測機器として波長可変半導体レーザー吸収分光装置(Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy(以下、TDLASという))を開示した。TDLASは、可視または近赤外線の波長領域における半導体レーザーの最近のめざましい性能向上に着目して開発されたもので、現地においてリアルタイムで高分解能分光分析できる画期的なガス濃度計測手法である。本発明者らは、このTDLASをGHG地下処分プラントからの漏洩監視に応用することについて鋭意研究し、以下に述べる本発明を完成するに至った。本発明のガス濃度モニタリングシステムは、GHG分離回収技術やGHG処分技術と組み合わせて用いられ、地下に貯留処分したGHGが再び地表に漏れ出さないようにできるので、京都議定書に定めるCO₂排出権取引に利用可能な地球環境浄化機構(Clean Development Mechanism; CDM)を構築する上で非常に重要な技術である。

40

【0013】

本発明に係るガス濃度モニタリングシステムは、温室効果ガス地下処分場の貯留対象域の

50

地表側において温室効果ガスの濃度を検出し、該温室効果ガス地下処分場貯留対象域から地表に漏れ出してくる温室効果ガスを監視するガス濃度モニタリングシステムであって、前記温室効果ガス地下処分場貯留対象域の地表近傍または上空に設けられ、監視対象となる温室効果ガス種に固有な吸収波長のレーザ光を前記温室効果ガス地下処分場貯留対象域の地表近傍に存在する大気に向けて発振する少なくとも1つの光源部と、前記温室効果ガス地下処分場貯留対象域の地表近傍または上空に設けられ、前記温室効果ガス地下処分場貯留対象域の地表近傍に存在する大気中を通過した前記光源部から発振されたレーザ光を受光する少なくとも1つの受光部と、前記光源部から発振されるレーザ光の発振波長を変調し、前記受光部で受光した信号の中から変調された信号を復調し、復調信号に基いて前記監視対象温室効果ガス種の濃度を求める波長可変半導体レーザ吸収分光手段と、を具備することを特徴とする。 10

【0014】

この場合に、複数の光源部および複数の受光部を温室効果ガス地下処分場の貯留対象域の周縁部に所定のピッチ間隔で対向配置するかまたは同列配置し、温室効果ガス地下処分場貯留対象域の地表に沿って複数のレーザ光を通過させることが好ましい（図3、図4参照）。複数のレーザ光列は実質的に平行であることが計測データを解析する上では望ましいが、必ずしも平行でなくとも計測することは可能である。

【0015】

さらに、複数の平行レーザ光にそれぞれ交差するように複数のレーザ光を複数の光源部から出射させ、前記温室効果ガス地下処分場貯留対象域の地表に沿って格子状にレーザ光を通過させることが好ましい（図3参照）。2方向からのレーザ光列は、それぞれ実質的に等ピッチ間隔とし、かつ直交するように交差させることが望ましい。直交する2方向からのガス濃度計測を複数回行い、CT（コンピュータトモグラフィ）解析手法を用いてデータ処理することにより、単にガス濃度の平均値でなく、貯留対象域を格子状に区分する交点ごとのガス濃度を個別に求め、貯留対象域の全域における温室効果ガスの濃度分布を高精度に把握することができる。すなわち、CT解析手法により交点座標の各々にガス濃度を書き込んだGHG分布マップが得られるので、このマップ情報をリアルタイムで観測衛星やインターネットにより関係各方面に配信することが可能になる。 20

【0016】

光源部と受光部とは1対1に対向配置してもよいし（図3参照）、光源部と前受光部を同じ側に配置し、光源部と1対1に対応する反射部を光源部と対向配置するようにしてもよい（図4参照）。このような反射部を有するシステムは中小規模のGHG地中処分場に好適である。 30

【0017】

光源部および受光部はともに所定位置に固定配置してもよいし（図3、図4、図9、図13参照）、光源部を所定位置に固定配置し、受光部は移動体に搭載して移動可能としてもよいし（図8参照）、これとは逆に光源部を移動体に搭載して移動可能とし、受光部は所定位置に固定配置してもよいし（図10参照）、光源部および受光部をともに移動体に搭載して移動可能としてもよい（図7、図11参照）。定点計測法は高精度の計測が可能であり、移動体を利用する非定点計測法は任意箇所での計測が随時可能になり、また保守点検コストの低減が可能になる。 40

【0018】

さらに、波長可変半導体レーザ吸収分光手段により得られたガス濃度検出データに基いて地下処分場から地表に漏洩する温室効果ガスのリーク量を求め、このリーク量が所定の閾値を超えたときに、地下処分場への温室効果ガス圧入量および圧力のうちの少なくとも一方を制御する制御手段を有することが好ましい（図2参照）。このようなシステムを構築することにより、地震などに起因して地盤に裂け目やずれを生じ、処分ガスの漏洩が発生した場合に、直ちにガス圧入操作を停止することができるという迅速な対処が可能になり、システムの信頼性が飛躍的に高まる。

【0019】

さらに、波長可変半導体レーザ吸収分光手段により得られたガス濃度検出データを上空で受信し、解析し、その解析結果と上空からの大気中ガス濃度の観測結果とを地上に配信する観測衛星を有することが好ましい（図13参照）。観測衛星は大気中のGHG濃度を独自に観測する赤外線観測機を搭載しており、大気中に存在するGHG（特にCO₂）濃度に関する観測情報を提供できる機能を備えている。

【0020】

さらに、前記波長可変半導体レーザ吸収分光手段により得られたガス濃度検出データを入力し、解析し、その解析結果と観測衛星から得られる観測結果とを関連する各方面に配信するインターネット配信システムを有することが好ましい（図14参照）。このようなインターネット配信システムと組み合わせることにより、互いに離れた複数の地域から得られたガス濃度計測情報を幅広い層に提供でき、ブロードバンド時代にふさわしい情報公開を実現できる。

【0021】

なお、波長可変半導体レーザ吸収分光手段における波長変調されたレーザ光は複数の異なる発振波長としてもよいし、単一の発振波長としてもよい。

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、添付の図面を参照して本発明の種々の好ましい実施の形態について説明する。

【0023】

図1および図12は本発明のガス濃度モニタリングシステムが適用されるGHG地中処分プラントの概要の一例をそれぞれ示す断面模式図である。GHG地中処分プラントの貯留対象域2の適所には鋼管杭等からなる複数の貯留投入ポート3が地中深くに打ち込まれている。貯留投入ポート3の下端は地下数百メートルから数キロメートルに存在する閉塞帯水層4または準化石塩水層5に達している。貯留投入ポート3にはCO₂分離回収装置（図示せず）のガス圧入機10のポンプが連通し、CO₂ガスが貯留投入ポート3を介して閉塞帯水層4または準化石塩水層5に所定の圧力で圧入されるようになっている。閉塞帯水層4に圧入されたCO₂ガスは、CO₂超臨界流体6の形態で貯留される。また、準化石塩水層5に圧入されたCO₂ガスは、塩淡境界を超えて海中に流入し、海水成分と反応して固定化される。

【0024】

GHG地中処分プラントは、図2に示すように、CO₂分離回収装置（図示せず）のガス圧入機10、TDLAS20、制御器50などを備えている。制御器50の入力部にはTDLAS20の内蔵コンピュータ30（図5、図6参照）が接続され、出力部はガス圧入機10の電源回路に接続されている。制御器50は、種々のデータ処理機能を備えるものであり、本実施形態ではCT解析データ処理機として機能する。

【0025】

貯留対象域2から地表に漏れ出てきたCO₂ガスはTDLAS20により濃度計測され、濃度計測データ信号が制御器50に入力されると、制御器50は所定の算式を用いて演算を行い、ガス濃度を求める。さらに、制御器50は、計測ガス濃度値と所定の閾値とを比較して、前者が後者を超える場合は、制御信号をガス圧入機10に送り、ガス圧入機10の圧入動作を制御する。すなわち、制御器50は、ガス圧入機10のCO₂ガス圧力を低下させるか、ガス圧入量を低減させるか、あるいは圧入動作そのものを停止させる。

【0026】

なお、CO₂ガス濃度に関する所定の閾値は、貯留対象域2以外の他の領域で計測した大気中CO₂ガス濃度の平均値（例えば、350ppm）を用いるか、あるいは国際標準協定値（例えば、250ppm）が存在する場合はそれに従う。

【0027】

（第1の実施形態）

次に、図3を参照して第1の実施形態のガス濃度モニタリングシステムについて説明する。

G H Gガスが地中処分される貯留対象域2に多数のポスト205が立設されている。貯留対象域2の広さは一辺が約4 kmの略正方形(面積: 16 km²)であり、その適所にC O₂貯留投入ポート3が設けられている。C O₂貯留投入ポート3の基端部は地上のガス圧入機10に連通し、先端部は地下の閉塞帯水層4に開口している。

【0028】

ポスト205は貯留対象域2を四方から取り囲むように実質的に同じ高さレベルでほぼ等ピッチ間隔に配列されている。ポスト205の上部には光源部201または受光部202が取付けられている。これらの光源部201および受光部202は、貯留対象域2を取り囲むように貯留対象域2の周縁に例えば50~100 mの等ピッチ間隔に配置されている。なお、ポスト205の高さはとくに規定しないが、障害物が無い場合であってもポスト205を過度に低くしすぎると、地表から受けるノイズが増大するので、ポスト205は適当な高さ(例えば、50~60 cm)を有すればよい。

【0029】

光源部201および受光部202は、図5に示すようにTDLAS20の構成の一部をなすものであり、光源部201からは光学窓27aを介してレーザ光8を測定領域(貯留対象域2)に出射し、受光部202は測定領域を通過したレーザ光8を光学窓27bを介して受光するように、1対1に対向配置されている。

【0030】

これらの光源部201と受光部202との組合せ対は、第1群と第2群とに分かれている。第1群の光源部201/受光部202はレーザ光8を地表に実質的に平行かつ等ピッチ間隔に出射し受光するものである。第2群の光源部201/受光部202は、第1群の平行レーザ光8に対してレーザ光8が交差するように直交方向に、かつ互いに平行に、かつ等ピッチ間隔にレーザ光8を出射し受光するものである。これら第1群および第2群の平行レーザ光8は、図3に示すように互いに交差して格子を形成する。制御器50またはコンピュータ30は、CT解析手法を用いる演算により、第1群と第2群の平行レーザ光8が交差する座標点でのガス濃度を高精度に算出することができる。なお、本実施形態では第1群と第2群の平行レーザ光から得られるデータに基づいてガス濃度を算出する例をあげたが、第1群の平行レーザ光から得られるデータのみを用いてガス濃度を算出してもよいし、あるいは第2群の平行レーザ光から得られるデータのみを用いてガス濃度を算出してもよい。

【0031】

次に、TDLAS20の詳細について説明する。

【0032】

図5に示すように、光源部201にはレーザ発振器が設けられている。レーザ発振器は、LDモジュール21と、LDモジュール21から発振されたレーザ光を反射するミラー21aと、ミラー21aで反射されたレーザ光の一部を光学窓27aに向けて反射するとともに一部を透過させるハーフミラー21bと、ハーフミラー21bを透過したレーザ光を参照セル3に向けて反射するミラー21cと、を備えている。

【0033】

光源としての半導体レーザ素子は、レーザ素子の温度調節を行うためのペルチェ素子とともにLDモジュール21のなかに設けられている。半導体レーザ素子はLDドライバ22の制御回路に接続され、その温度と電流とが制御されるようになっている。なお、本実施形態では、光源として半導体レーザ素子を採用した場合を例にとって説明しているが、本発明の光源は半導体レーザ素子のみ限定されるものではなく、その他の波長変調が可能なレーザ発振器のすべてに適用可能であり、さらに、レーザ以外の光・電磁波の場合も、波長変調が可能な場合には、すべて適用可能である。

【0034】

受光部202の光学窓27bの近傍には2つのフォトダイオード25, 26(PD2, PD3)が設けられている。一方のフォトダイオード25はレーザ光軸上に配置され、貯留対象域2の上方(計測域)を通過したレーザ光8を受光するようになっている。他方のフ

フォトダイオード26はレーザ光軸から外れたところに配置され、計測域の背景光（バックグラウンド）を受光するようになっている。これら2つのフォトダイオード25、26は測定ユニット28を経由してAD変換器29に受光信号をそれぞれ送るように接続されている。AD変換器29はコンピュータ30に接続され、さらにコンピュータ30はディスプレイを備えた表示装置91A～91C（図14参照）に接続されている。

【0035】

LDモジュール21から発振されたレーザ光8は、ハーフミラー21bで2つに分けられる。このうち透過光は、参照セル23を通り、第1のフォトダイオード24（PD1）で受光され、ガス濃度の検定と波長安定化とに用いられる。一方、反射光は、計測域へ光学窓27aを介して導入され、計測域を通過した後に光学窓27bを介して第2のフォトダイオード25（PD2）により受光される。

【0036】

さらに、計測用レーザ光8の光軸から外れたところに配置された第3のフォトダイオード26（PD3）により計測域から発される背景光を受光する。これら3つのフォトダイオード24、25、26からの電気信号を測定ユニット28で処理する。測定ユニット28は処理したアナログデータをAD変換器29に送り、これをAD変換器29はデジタルデータに変換し、これをコンピュータ30に送る。コンピュータ30は、送られてきたデータをメモリに保存するとともに、これを数値化又はグラフ化して表示装置（図示せず）の画面に表示する。さらに、コンピュータ30は、第2のフォトダイオード25（PD2）で受光した光（レーザ光+背景光）の強度と第3のフォトダイオード26（PD3）で受光した光（背景光）の強度との差分を演算により求め、これも表示装置の画面に表示するようになっている。

【0037】

ガス濃度の検定は次のようにしてなされる。

【0038】

先ず、参照セル23内の既知のガス濃度と、参照セル23の既知の光学長さと、計測領域の既知の光学長さとをコンピュータ30にデータ入力する。コンピュータ30は、メモリから所定の数式を呼び出し、3つの入力データを数式の該当パラメータにそれぞれ代入し、演算によりガス濃度値を求める。なお、参照セル23の内部にはガス濃度が既知の標準ガスを一定圧力で封入するか、または通流させてある。

【0039】

図6はTDLAS20の要部を示すブロック回路図である。

【0040】

測定ユニット28は、ランプ波発生器31、2つのサイン波発生器32、33、加算器34、2つの増幅器35、3つの位相敏感検波器36、37、39、5つのローパスフィルタ38、アンプ/ローパスフィルタ40を内蔵している。

【0041】

ランプ波発生器31は、測定対象ガスに固有の吸収スペクトルのところでレーザ発振波長をゆっくりと掃引させるために、例えば周波数0.5Hz又は0.01Hzのランプ波を半導体レーザ素子の注入電流に印可するようになっている。なお、長時間にわたりガス濃度の変化を測定する場合は、ランプ波発生器31によるレーザ発振波長の掃引を止め、レーザ発振波長を所定波長にロックする。

【0042】

2つのサイン波発生器32、33は、レーザ発振波長を変調するために、それぞれ異なる周波数のサイン波を半導体レーザ素子の注入電流に重ねて印可するようになっている。例えば、一方のサイン波発生器32からは第1の変調周波数 f として10kHzのサイン波（ $f=10\text{kHz}$ ）が加算器34を経由してLDドライブ22に印可され、他方のサイン波発生器33からは第2の変調周波数 w として500Hzのサイン波（ $w=500\text{Hz}=0.5\text{kHz}$ ）が加算器34を経由してLDドライブ22に印可されるようになっている。

【0043】

加算器34は、ランプ波発生器31からの掃引信号、2つのサイン波発生器32、33からの異なる周波数 f 、 w の変調信号、位相敏感検波器39からの周波数 $2f + w$ の3次微分復調信号を重畳して半導体レーザ素子の注入電流に印可するようになっている。

【0044】

第1、第2、第3の位相敏感検波器36、37、39は、参照セル3の受光器24 (PD1) に増幅器35を介して接続されている。このうち第1及び第2の位相敏感検波器36、37からなる回路はローパスフィルタ38を介して外部のAD変換器29に接続されている。一方、第1及び第3の位相敏感検波器36、39からなる回路はアンプ／ローパスフィルタ40を経由して加算器34に接続されている。

10

【0045】

なお、レーザ光用の受光器25 (PD2) は、増幅器35、2つの位相敏感検波器36、37、ローパスフィルタ38からなる直列回路を経由してAD変換器29に接続されるとともに、別のローパスフィルタ38を経由してAD変換器29にバイパス接続されている。また、背景光用の受光器26 (PD3) は、ローパスフィルタ38を経由してAD変換器29に接続されている。

【0046】

ローパスフィルタ38は、受光信号から高周波成分を除去して、低周波数の信号のみを通過させるようになっている。

【0047】

ランプ波発生器31から掃引波長をもつランプ波を注入電流に印可するとともに、各サイン波発生器32、33から異なる周波数 f 、 w のサイン波を注入電流に重ねて印可すると、これによりレーザ発振波長は2つの異なる周波数 f 、 w で二重に変調される。その結果、このレーザ光を受光した信号には変調周波数 f 、 w とその高調波が含まれるようになるので、第1の位相敏感検波器36により信号が2倍の周波数 20 kHz ($2f$) で復調され、次いで第2の位相敏感検波器37により2倍の周波数 1 kHz ($2w$) で復調され、これらが重畳された4次微分信号 ($2f + 2w$) がローパスフィルタ38を通過してAD変換器29に送られる。

20

【0048】

また、第1の位相敏感検波器36により2倍の周波数 20 kHz ($2f$) で復調された信号は、第3の位相敏感検波器39において周波数 w で復調される。これらが重畳された3次微分信号 ($2f + w$) がアンプ／ローパスフィルタ40を通過して加算器34に送られ、この信号に基づきレーザ発振波長が測定対象ガスの吸収中心波長にフィードバック制御される。

【0049】

次に、TDLAS20の種々の機能について説明する。

【0050】

(イ) フリンジの影響除去

光学部品での反射が原因となって吸収スペクトルの中に現れるフリンジが、濃度測定の妨害になることが多い。注意深くこのフリンジを除去した後でも、小さな振幅のフリンジが残る場合がある。この振幅の変動は、屋外のテストプラントや実プラントの近くに設置された光学部品の温度変動に伴って起こり、その結果、吸収のピーク強度が変動することになる。しかしながら、本発明者らは、二重変調を用いることによってこの問題を解決している。すなわち、フォトダイオード25 (または24) の出力を、アンプ35で増幅した後、周波数 $2f$ の位相敏感検波器36で復調し、さらに、周波数 $2w$ の位相敏感検波器37で復調し、低周波フィルタ38で高周波ノイズを除去する。

40

【0051】

TDLAS20では、フリンジを伴う吸収信号を、さらに第2の周波数 w の2倍の周波数 $2w$ で復調することにより4次微分信号を得て、この4次微分信号から先の2次微分信号のピークとピークとの間の強度を観測することができる。従って、フリンジの有無に拘わ

50

らず、ピークとピークの間の強度が観測されることになる。このような二重変調と復調とにより高感度かつ長時間安定な計測が可能になる。

【0052】

(ロ) ガスと固体粒子の濃度の同時計測

ガス状分子の吸収はレーザ光の波長に依存するが、一方、固体粒子による散乱や吸収はレーザ光の波長にはあまり依存しない。第2のフォトダイオード25 (PD2) の出力は、2つに分けられ、一方は、アンプ35と位相敏感検波器36によって変調された成分が検出され、他方は低周波通過フィルタ38によって、直流成分が検出される。その結果、透過してきたレーザ光強度の変調された成分と直流成分を両方とも測定できるので、ガス濃度と固体粒子濃度との同時計測が可能となる。

10

【0053】

(ハ) 波長の安定化

長期間安定な測定を実現するために、レーザ光の発振波長を参照セル内のガスの吸収ピークにロックした。具体的には、第1のフォトダイオード24 (PD1) の出力をアンプ35で増幅した後に、周波数 $2f$ の位相敏感検波器36で復調し、さらに、周波数 w の位相敏感検波器39で復調し、低周波通過フィルタおよびアンプ40を通すと、参照セル23内のガスによる吸収信号の3次微分が得られる。この3次微分信号は、吸収中心付近ではガスの吸収中心波長とレーザ光の発振波長との差に比例する。この関係を利用して両者の波長差がゼロになるように加算器34に加えると、フィードバック制御が掛かり、その結果、レーザ光の発振波長が安定化する。

20

【0054】

(ニ) 背景光の影響除去

位相敏感検波器の出力は、ガス濃度とレーザ強度に比例するのでガス濃度を算出するためには、レーザ強度で割る必要がある。

【0055】

フォトダイオード25 (PD2) で受光した光の強度は、透過したレーザ光と火炎などの発光 (背景光) との両方を含むものである。それゆえ、背景光のみを受光するためのフォトダイオード26 (PD3) をレーザの光軸を外れた位置に設置し、フォトダイオード25 (PD2) の出力 (受光強度) からフォトダイオード26 (PD3) の出力 (受光強度) を差し引くことにより、背景光の影響を除去することができる。

30

【0056】

なお、本実施形態では、光源部201からのレーザ発振波長はマイケルソン干渉型波長計で較正した。ガス9を透過したレーザ光8は受光部202のインジウムガリウム砒素pin結合型フォトダイオード (InGaAsPINPD) で受光した。

【0057】

上記機能を有するTDLAS20は、計測データをコンピュータ30で処理し、処理データを制御器50に送る。制御器50は、CT解析手法を用いてデータ処理し、貯留対象域2におけるガス濃度分布マップを作成し、これをリアルタイムにユーザーディスプレイに画面表示させる情報提供サービスを行うとともに、計測値が所定の閾値を超えた場合にGHG分離回収装置のガス圧入機10に指令信号を送り、その動作を最適制御する。

40

【0058】

本実施形態のモニタリングシステムによれば、大規模GHG地中処分プラントの貯留対象域2においてCO₂ガスの漏洩が発生した場合に、CT解析手法を用いてガス漏洩量と座標を高精度に特定できるので、現地でリアルタイムに適切に対処することができ、CDM事業を迅速かつ確実に推進することが可能になる。

【0059】

(第2の実施形態)

次に、図4を参照して第2の実施形態のガス濃度モニタリングシステムについて説明する。なお、本実施形態が上記の実施形態と重複する部分の説明は省略する。

第2実施形態のシステムは、上記第1実施形態のシステムに比べて小規模のGHG地中処

50

分プラントの貯留対象域2（例えば、一辺が100～1000mの正方形、面積が1km²未満）に適したシステムである。複数の光源部201が貯留対象域2の周縁の一方側にて実質的に同じ高さレベルで等ピッチ間隔（例えば、10～20mピッチ）にポスト205にそれぞれ支持されている。光源部201は受光機構を内蔵するものである。すなわち、本実施形態のシステムは光源部と受光部を同じ側に同列配置したものとなる。

【0060】

これらの光源部201に1対1に向き合って反射部204が貯留対象域2の周縁の他方側にて実質的に同じ高さレベルで等ピッチ間隔にポスト205にそれぞれ支持されている。

【0061】

反射部204は光学ミラーを備えており、光源部201から出射されたレーザ光8を光源部201の受光機構に向けて反射するようになっている。受光機構は上記実施形態の受光部202と実質的に同じ構成をなすものである。なお、本実施形態では光源部（受光部）と反射部とを1対1に対向配置しているが、1つの光源部（受光部）に対して複数の反射部を設け、複数回ジグザグに反射させた後に受光部にレーザ光が入射するようにしてもよい。

【0062】

本実施形態によれば、小規模のGHG地中処分プラントに好適な低コストのガス濃度モニタリングシステムが提供される。

【0063】

（第3の実施形態）

次に、図7を参照して第3の実施形態のガス濃度モニタリングシステムについて説明する。なお、本実施形態が上記の実施形態と重複する部分の説明は省略する。

本実施形態のシステムでは光源部201と受光部202を別々の車両60に搭載し、光源部201と受光部202を貯留対象域2の周縁に沿って移動させることにより、光源部201と受光部202を向き合わせた状態で計測位置を次々に変えて貯留対象域2の全域にわたるガス濃度を計測するようにしている。

【0064】

車両60は少なくとも2台あれば計測可能であるが、4台の車両60に光源部201または受光部202のいずれかを搭載させ、上記第1実施形態と同様に2本のレーザ光8を交差させるようにすることが好ましい。

【0065】

本実施形態によれば、ガス濃度計測位置を任意に選択できるので、ガスが漏洩しそうな領域を重点的に監視することが可能になる。

【0066】

また、本実施形態によれば、定点計測に比べて光源部および受光部の数を減らすことができるので、低コストのガス濃度モニタリングシステムを提供できる。なお、定点計測の場合も不定点計測の場合も、1つのGHG地中処分プラントに対して1台のTDLAS20を設けるだけでよく、複数台のTDLAS20を設ける必要はない。したがって、1台のTDLAS20に複数の光源部および複数の受光部がすべて接続されることになり、貯留対象域2の全域にわたり計測データを集約化することが容易になる。

【0067】

（第4の実施形態）

次に、図8を参照して第4の実施形態のガス濃度モニタリングシステムについて説明する。なお、本実施形態が上記の実施形態と重複する部分の説明は省略する。

本実施形態のシステムでは、受光部202のみを車両60に搭載し、貯留対象域2のほぼ中央に立てたポール上の1つの光源部201を中心にして受光部202を光源部201のまわりに移動させることにより、光源部201と受光部202を向き合わせた状態で計測位置を次々に変えて貯留対象域2の全域にわたるガス濃度を計測するようにしている。

【0068】

なお、本実施形態では1つの光源部201のレーザ光出射部（光学窓27a）の向きを可

変とし、レーザ光出射部の向きを変えて移動体60上の受光部202に向けてレーザ光8を出射するようにしているが、ポール上に複数の光源部201を放射状に取り付け、光源部201をオンオフ制御により次々に切り替えて移動体60上の受光部202に向けてレーザ光8を出射するようにしてもよい。

【0069】

また、本実施形態では車両60は少なくとも1台あれば計測可能であるが、複数台の車両60に受光部202を搭載させてもよい。また、ポールの高さは貯留対象域2の広さに応じて種々変えることができるが、一般的には10～50m程度とすることが望ましい。

【0070】

本実施形態によれば、定点計測に比べて光源部および受光部の数を減らすことができるので、低コストのガス濃度モニタリングシステムを提供できる。 10

【0071】

(第5の実施形態)

次に、図9を参照して第5の実施形態のガス濃度モニタリングシステムについて説明する。なお、本実施形態が上記の実施形態と重複する部分の説明は省略する。

本実施形態のシステムでは、受光機構を内蔵した1つの光源部201を貯留対象域2のほぼ中央に立てたポール上に設け、複数の反射部204を光源部201の支持ポールを中心とする円周上にはほぼ等ピッチ間隔に配置している。反射部204は上記と同様に光学ミラーを備えており、光源部201から出射されたレーザ光8を反射し、反射光を受光機構(図示せず)に受光させる。 20

【0072】

本実施形態によれば、反射部204を地表の近くに配置しているので、光学窓やミラーを保守点検時に容易に洗浄することができ、レーザ光の所定の反射率を維持することができる。

【0073】

(第6の実施形態)

次に、図10を参照して第6の実施形態のガス濃度モニタリングシステムについて説明する。なお、本実施形態が上記の実施形態と重複する部分の説明は省略する。

本実施形態のシステムでは、1つの光源部201を飛行船などの飛翔体70に搭載している。地上に設けた複数の反射部204は上記の第5実施形態と同様である。 30

【0074】

本実施形態によれば、飛翔体を上昇させることにより光源部の高度を容易に高くすることができるので、広域の大規模GHG地中処分プラントに好適である。

【0075】

(第7の実施形態)

次に、図11を参照して第7の実施形態のガス濃度モニタリングシステムについて説明する。なお、本実施形態が上記の実施形態と重複する部分の説明は省略する。

本実施形態のシステムでは、光源部201および受光部202をともに移動体に搭載して不定点計測するようにしている。すなわち、1つの光源部201を飛翔体70に搭載し、少なくとも1つの受光部202を車両60に搭載している。車両60は受光部202を搭載した状態で貯留対象域2内を自由に移動でき、また飛翔体70は光源部201を搭載した状態で貯留対象域2の上空で高度と水平位置を自由に変わることができる。 40

【0076】

本実施形態によれば、貯留対象域2内の任意地点のガス濃度を迅速かつ容易に計測することができるので、上記の定点計測と組み合わせて用いると、よりきめ細やかな計測が可能になる。

【0077】

(第8の実施形態)

次に、図12と図13を参照して第8の実施形態のガス濃度モニタリングシステムについて説明する。なお、本実施形態が上記の実施形態と重複する部分の説明は省略する。 50

図12に示すように、GHG地中処分プラントの構想は内陸部ばかりでなく海洋大陸棚をも対象としている。すなわち、ガス貯留投入ポート3を海洋大陸棚の地下に存在する閉塞帯水層4まで打ち込み、CO₂ガスのようなGHGを閉塞帯水層4に圧入するようにしている。このような海洋大陸棚を対象とするGHG地中処分プラントの貯留対象域2は海洋上にあり、しかも広域にわたるので、通常のモニタリングシステムを用いて漏洩GHGを監視することは困難である。

【0078】

そこで、本実施形態では、図13に示すように観測衛星80を用いてガス濃度計測データをリアルタイムで送受信するようにしている。観測衛星80は、海洋上に設けた複数の受光部202から計測データを受信し、それに基づいてGHGガス濃度分布マップを作成し、これをユーザーディスプレイに配信して画面表示させるとともに、制御器50にガス圧入機10の動作を制御させるようになっている。また、観測衛星80は大気中のGHG濃度を独自に観測する赤外線観測機を搭載しており、大気中に存在するGHG（特にCO₂）濃度に関する観測情報を提供できる機能を備えている。

【0079】

本実施形態によれば、作業者が容易に近づくことができない海洋上であっても有効なガス濃度計測データを得ることができる。

【0080】

（第9の実施形態）

次に、図14を参照して第9の実施形態のガス濃度モニタリングシステムについて説明する。なお、本実施形態が上記の実施形態と重複する部分の説明は省略する。

本実施形態のシステムは、複数のGHG地中処分プラントから得られるガス濃度計測データをインターネットを利用してリアルタイムでユーザーに情報提供サービスしようとするものである。

【0081】

TDLAS20A、20B、20Cは、異なる複数のGHG地中処分プラントの貯留対象域2を監視するものであり、インターネットを介してサーバー92およびホストコンピュータ93にそれぞれ接続されている。TDLAS20A、20B、20Cで計測したガス濃度データは、ホストコンピュータ93にデータ蓄積されるとともに、サーバー92を介して各地のユーザーディスプレイ91A～91Cにそれぞれ配信されるようになっている。

【0082】

本実施形態によれば、各国、各地域から幅広くGHG処分情報やリーク情報を入手することが可能になる。本モニタリングシステムをインターネット配信システムと組み合わせることにより、互いに離れた複数の地域から得られたガス濃度計測情報を幅広い層に提供できる。

【0083】

【発明の効果】

本発明のガス濃度モニタリングシステムによれば、GHG地中処分プラントの貯留対象域におけるガスの漏洩を高精度、迅速かつ効率よく監視することが可能であることが実証できた。

【0084】

また、本発明によれば、CT解析手法などを利用することにより交点座標の各々にガス濃度を書き込んだGHGリーク分布マップが得られ、この情報をリアルタイムで観測衛星やインターネットにより関係各方面に配信することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のガス濃度モニタリングシステムが適用されるGHG地中処分プラント（内陸部設備）の概要を説明するための断面模式図。

【図2】GHG地中処分プラントの概略の制御ブロック図。

【図3】本発明のガス濃度モニタリングシステム（大規模貯留対象域用）を模式的に示す

斜視図。

【図４】本発明のガス濃度モニタリングシステム（中小規模貯留対象域用）を模式的に示す斜視図。

【図５】TDLASの全体概要を示す断面ブロック図。

【図６】TDLASの要部を示すブロック回路図。

【図７】他の実施形態のガス濃度モニタリングシステムを模式的に示す斜視図。

【図８】さらに他の実施形態のガス濃度モニタリングシステムを模式的に示す斜視図。

【図９】さらに他の実施形態のガス濃度モニタリングシステムを模式的に示す斜視図。

【図１０】さらに他の実施形態のガス濃度モニタリングシステムを模式的に示す斜視図。

【図１１】さらに他の実施形態のガス濃度モニタリングシステムを模式的に示す斜視図。 10

【図１２】本発明のガス濃度モニタリングシステムが適用されるGHG地中処分プラント（海洋大陸棚設備）の概要を説明するための断面模式図。

【図１３】観測衛星を利用した本発明のガス濃度モニタリングシステムを示す概略構成図

。【図１４】インターネット等の配信システムを利用した本発明のガス濃度モニタリングシステムを示す概略構成図。

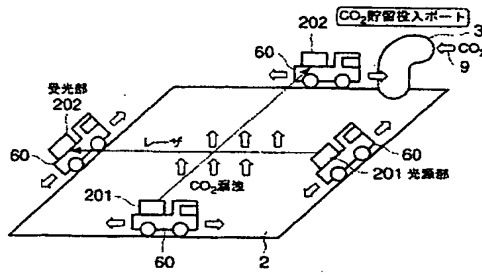
【図１５】従来のガス濃度モニタリングシステムを示す概略斜視図。

【図１６】従来のガス濃度モニタリングシステムの動作を説明するための概略断面図。

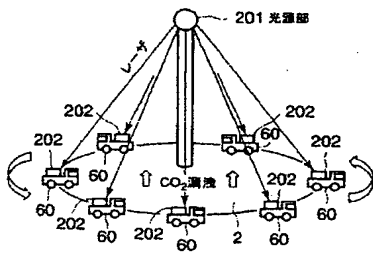
【符号の説明】

- 2…貯留対象域、 20
- 3…ガス貯留投入ポート、
- 8…レーザ光、
- 9…温室効果ガス（GHG）、
- 10…ガス圧入機、
- 20, 20A, 20B, 20C…波長可変半導体レーザ吸収分光装置（TDLAS）、
- 201…光源部、202…受光部、
- 204…反射部、205…ポスト（支持部材）、
- 21…LDモジュール（光源）、
- 22…LDドライバユニット、
- 23…参照セル、 30
- 24, 25, 26…フォトダイオード、
- 28…測定ユニット、29…AD変換器、30…コンピュータ、
- 31…ランプ波発生器、32, 33…サイン波発生器、
- 34…加算器、35…アンプ、
- 36, 37, 39…位相敏感検波器、
- 38…ローパスフィルタ（低周波通過フィルタ）、
- 40…アンプ／ローパスフィルタ、
- 50…制御器（CT解析データ処理機）、
- 60…車両（移動体）、
- 70…飛行船（移動体、飛翔体）、 40
- 80…観測衛星。

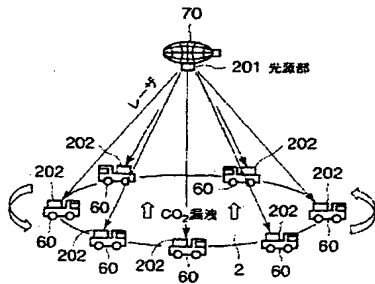
【図 7】



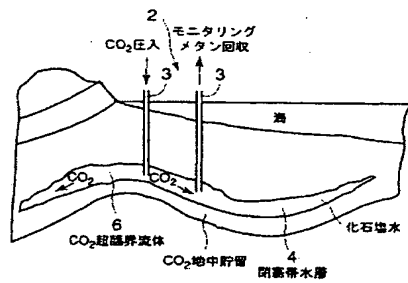
【図 8】



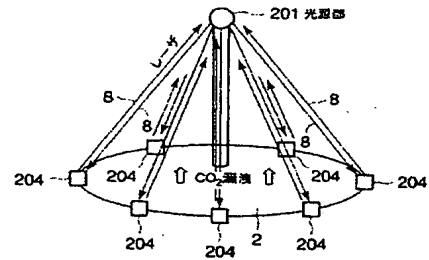
【図 11】



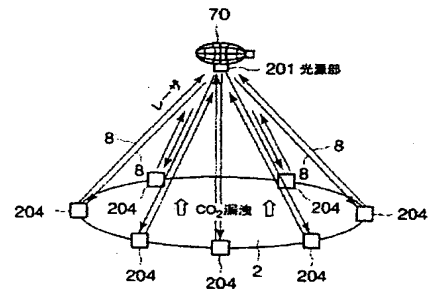
【図 12】



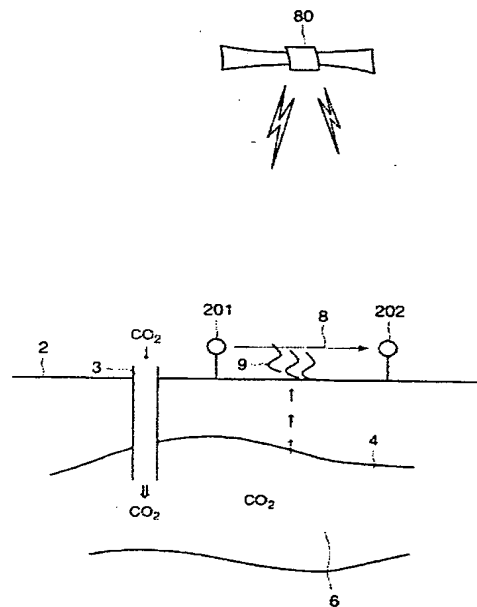
【図 9】



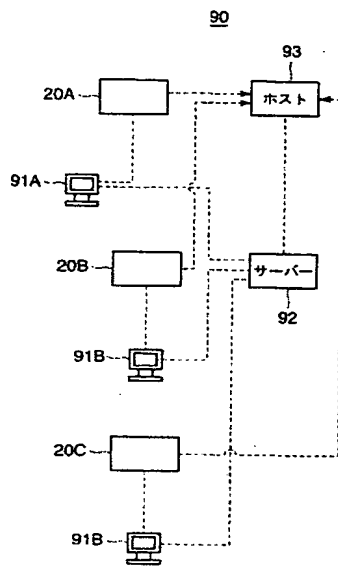
【図 10】



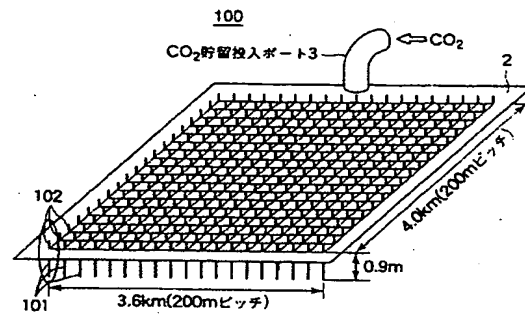
【図 13】



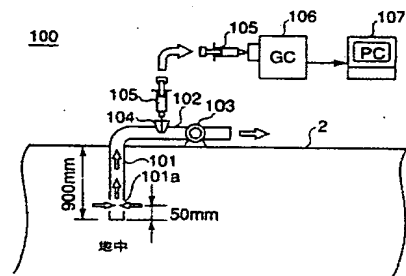
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 牟田 研二

神奈川県横浜市金沢区幸浦一丁目8番地1 三菱重工業株式会社先進技術研究センター内

(72)発明者 田浦 昌純

神奈川県横浜市金沢区幸浦一丁目8番地1 三菱重工業株式会社先進技術研究センター内

(72)発明者 飯嶋 正樹

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号 三菱重工業株式会社内

Fターム(参考) 2G059 AA01 BB01 EE01 EE11 FF08 GG01 GG03 GG05 GG06 GG09

JJ13 JJ22 KK01 KK03 MM01 MM03 MM05 MM09 MM10 NN01

PP04 PP06

5F072 AB13 JJ01 JJ09 YY11